УДК 551.2.001.5:622.831.322

© 2010

В. В. Лукінов, Л. І. Пимоненко, О. В. Бурчак, Д. А. Суворов

Тектоногеохімічна гіпотеза утворення викидонебезпечних зон у вугільних пластах

(Представлено академіком НАН України А. Ф. Булатом)

Запропоновано гіпотезу утворення викидонебезпечних зон у вугільних пластах, яка базується на уявленні про вплив тектонічних рухів на геохімічні процеси. Періодичні тектонічні рухи сприяють формуванню осередків структурно перетвореної вугільної речовини, в яких відбувається нагромадження критичного об'єму потенціальної енергії та генерація газу.

У зв'язку зі збільшенням глибини розробки вугільних пластів та інтенсифікацією вуглевидобутку зростає вірогідність виникнення газодинамічних явищ, найбільш небезпечними з яких є викиди вугілля та газу. Причини появи раптових викидів вугілля і газу пояснюються численними гіпотезами. Проте дотепер немає єдиної загальноприйнятої точки зору про природу і механізм газодинамічних явищ і жодна з існуючих гіпотез не описує їх різноманітність. Це не дозволяє визначити конкретні параметри викидонебезпечних ділянок вугільних пластів, а отже, і надійно прогнозувати їх. Тому спрямовані на виявлення природи викидонебезпеки дослідження залишаються актуальними.

Однією з основних особливостей раптових викидів є причетність їх до зон впливу порушень структури вугільних пластів [1]. Теоретично [2] зв'язок викидів з цими зонами пояснюється розущільненістю порід на цих ділянках, що створює сприятливі умови для нагромадження та збереження газів у вугільних пластах і вміщаючих породах під тиском. Однак, з одного боку, більшість викидів відбувається при переході порушень, а з другого — більшість порушень гірського масиву перетинається без викидів. Очевидно, що наявності порушень недостатньо, але вони необхідні для появи викидів.

Дислокованість порід басейну формувалася протягом чотирьох періодів, що відзначалися за величиною та напрямом тектонічних сил, які обумовили типи та розташування порушень [3]. Паралельно при зануренні осадових відкладів під впливом температури і геостатичного тиску (відзначається також дія геологічного часу, підземних вод та інших факторів [4]) активізуються механо- й електрохімічні процеси, які спричиняють генерацію газів. У кожному періоді відбувалася значна перебудова тектоногеохімічних умов у масиві. Очевидно, розущільнені ділянки, що формувалися під час нагромадження відкладів або інверсії геотектонічного процесу, ущільнились, а газ (частково), який містився в них, був витиснений і перерозподілився у масиві. Отже, припущення про збереження газу у викидонебезпечних зонах за такий тривалий час (200–300 млн років) не є переконливим. Виходячи з того, що утворення ділянок розущільнення, умови збереження та міграції флюїдів (механічні процеси), генерація газів (геохімічні процеси) відбувалися одночасно і головна роль в активізації й розвитку цих процесів належить тектонічній дії, нами запропоновано тектоногеохімічну модель утворення викидонебезпечних зон, яка базується на уявленні про вплив тектонічних сил на геохімічні процеси і може стати основою для розробки нових методів прогнозу цих зон. В основу цієї моделі покладено дві передумови:

Перша — стосується формування дислокованості. Тектонічні рухи створюють імпульсні механічні навантаження, які викликають у масиві появу та поширення хвилі напруги, відбиваючись від упора (наприклад, зміщувачі порушень), вони утворюють системи стоячих хвиль [5]. У зонах інтерференції хвиль напруги знаходяться максимально деформовані ділянки геологічних об'єктів. Просторова періодичність розташування зон малоамплітудних порушень, велико- і середньоамплітудних розривів та перикліналей складок, яка фіксується в Донбасі [1], підтверджує існування таких процесів. На підставі уявлень про хвильову природу напруги в масиві [5] можна припустити, що на кожному етапі тектонічного розвитку в зонах інтерференції активізуються ділянки певного простягання. Повторення схожих тектонічних планів викликало періодичну активізацію деяких систем розломів і, як наслідок, розвиток регіональних розривів за близькими структурними простяганнями. Такий механізм пояснює можливість "підтримки" розущільненості ділянок протягом тривалого часу і приуроченість газодинамічних явищ до розривних порушень певного напряму.

Друга — активізація та розвиток геохімічних процесів. Одночасно з деформацією масиву тектонічні імпульси впливають на зміну молекулярної структури і хімічного складу відкладів. Деформація гірських порід під дією тектонічних процесів спричинює виникнення низки хімічних, механо- й електрохімічних та фізико-хімічних процесів [4], наслідком яких є структурні трансформації у вугільній речовині, що відбуваються в двох напрямах: деструкція аліфатичної складової вугільної речовини і поліконденсація ароматичної складової [4, 6, 7]. Деструкція проходить з перетворенням макромолекул вугільної речовини в простіші молекулярні з'єднання і з нагромадженням продуктів реакцій, стійких у цій термодинамічній ситуації. Детальні дослідження хімічних процесів перетворення вугілля [7] і експериментальні дослідження [4, 8] механічної дії на вугілля показали, що навіть при невеликих значеннях енергії і невисоких температурах (до 200 °C) у макромолекулі вугілля або розсіяної органічної речовини (РОР) збільшується кількість і концентрація ароматичних структур, знижується число кисневих груп, аліфатичних ланцюжків і функціональних груп –CH [4]. Отже, механічна дія на вуглепородний масив спричинює зниження енергії активації реакцій синтезу вуглеводнів, роблячи їх термодинамічно дозволеними. При цьому виділення метану відбувається як утворення єдиного стійкого вуглеводневого компонента [7]. Наведені в зазначених працях дані свідчать про можливість додаткового утворення метану на кожному тектонічному етапі.

Нами зроблено спробу кількісно оцінити можливість впливу тектонічних сил на активізацію хімічних процесів і утворення метану на сучасному етапі. Припустимо, що в результаті тектонічних дій частина циклічних (у тому числі й ароматичних) з'єднань переходить у ланцюжки з аліфатичною структурою молекул. Аліфатичні з'єднання складаються з елементів, як з одинарним хімічним зв'язком ($E_{\text{од}} = 4{,}2 \cdot 10^{-19}$ Дж), так і з подвійним ($E_{\text{подв}} = 6{,}9 \cdot 10^{-19}$ Дж). На підставі цих даних можна розрахувати кількість енергії, необхідної для розриву циклічного з'єднання.

Для однієї молекули величина енергії може визначатися за формулою:

$$\Delta E \simeq \frac{k\Delta x^2}{2},$$

де k — силова постійна для цієї хімічної сполуки; $\Delta x \approx 0{,}1$ нм — мінімальна відстань між молекулярними структурами, яка визначається квантово-механічними характеристиками систем [9]. Тоді в перерахунку на перехід однієї циклічної молекули в аліфатичне з'єднання

необхідна енергія дорівнює, Дж:

$$\Delta E \simeq 2{,}5 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = 4{,}0 \cdot 10^{-19}.$$

Кількість бензольних кілець в ядрі макромолекул вугілля різного ступеня метаморфізму відрізняється [10]: для вугілля марки М — П кількість кілець становить приблизно 15–20%. Отже, для вугілля середніх марок, для "розпаду" циклічних з'єднань в 1 кг вугілля необхідно витратити, Дж:

$$\Delta E_{1\text{кг}} \simeq \frac{25 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{6} 10^{27} \simeq 0{,}7 \cdot 10^{8} \simeq 10^{7}.$$

Зіставимо ці значення енергії переходу з величинами напруги, виміряними безпосередньо в масиві. Параметри сучасної напруги (σ) визначаються в результаті натурних вимірювань [11]. Встановлено, що в Донбасі поле напруги створюється переважаючою горизонтальною напругою, пов'язаною з геодинамічними процесами і гравітаційним навантаженням розміщених вище порід. Величина максимальної горизонтальної складової σ_1, що змінюється від 28,0 до 68,0 МПа, у 1,6–2,1 раза перевищує тиск зазначених порід. Друга головна горизонтальна складова σ_3 змінюється від 14 до 22 МПа і в середньому не перевищує 0,75 від тиску розміщених порід (досліджено глибини 600–1200 м). Величина вертикальної складової σ_2 приблизно відповідає тиску розміщених вище порід.

Енергія деформації, що виникає в масиві під дією напруги, визначається формулою [4]:

$$I \approx \frac{\sigma^2}{2E},$$

де σ — напруження, МПа; E — модуль пружності, Н/м^2.

Значення модуля пружності вугілля різних марок змінюються в межах $(3{,}7{-}8{,}0) \cdot 10^9$ Н/м^2. Якщо величина гравітаційного навантаження займає проміжне значення між двома головними компонентами напруги, що діють в горизонтальній площині, то процес деформації відбувається саме в цій площині. При цьому результуюча напруга дорівнює сумі максимального і мінімального головних компонент напруги [12]. Отже, при середніх для Донбасу значеннях поля напруги енергія деформації становить $I \approx 0{,}86 \cdot 10^6$ Дж [4]. Згідно з наведеними розрахунками, величина енергії, викликана сучасними геодинамічними процесами, порівнянна з енергією, необхідною для деструкції макромолекул в 1 кг вугілля, але її недостатньо для активізації структурних трансформацій і газогенерації у великих об'ємах вугільної речовини.

Наведені розрахунки слугували підгрунтям для тектоногеохімічної гіпотези утворення викидонебезпечних зон.

Виходячи з того, що тектонічної енергії, яка переходить у масив на даний час, недостатньо для одночасної трансформації мікроструктури великої маси вугілля, можна припустити наявність структурних перетворень речовини в порушених зонах тільки на невеликих об'ємах (осередках структурних перетворень) вугільного пласта.

Найімовірніше, поява таких осередків структурних перетворень відбувається на ділянках вугільного пласта, що відзначаються неоднорідністю структури, яка сформувалася як під час нагромадження, так і під час перетворення органічної маси. Природа неоднорідності може бути зумовлена поєднанням різних мікрокомпонентів вугілля, фізико-механічні властивості яких (метаноємність; модулі Юнга, зрушення та стиснення) відрізняються [6]. Ці

неоднорідності можна представити як скупчення мікроділянок з різним ступенем перетворення органічної маси або акумуляції великої кількості дефектів та дислокацій. Існування в порушених зонах ділянок з різними властивостями підтверджується, на наш погляд, результатами дослідження показників якості [13] та мікроструктури вугілля в зонах впливу розривних порушень. Наведені в публікації [14] дані показують, що за такими показниками, як вихід летких, вміст вуглецю, відбивна здатність, диференціально-термічний аналіз, об'ємна маса і пористість визначених безпосередньо в зміщувачах порушень зміни фіксуються, але в зонах впливу розривних порушень вугілля марки М — П, незалежно від амплітуди розриву, наявні зміни мають випадковий характер.

У неоднорідних ділянках — осередках структурних перетворень (ОСП) — на межах неоднорідностей також концентруватиметься вільна енергія, що приводить до появи різнонапрямлених дислокацій. Періодичне надходження нових порцій енергії, в тому числі від техногенних процесів, призводить до розростання ОСП, що викликає ослаблення молекулярних і міжмолекулярних зв'язків та відповідно збільшення вільної енергії речовини, зниження енергетичного бар'єру, робить можливою термодинамічно заборонену за нормальних умов фізико-хімічну взаємодію [4] і активізує хімічні реакції [14], спричиняючи генерацію метану.

При такій моделі формування викидонебезпечних зон зрозуміла роль будови і потужності вугільних пластів. Потужні вугільні пласти, в більшості випадків, відзначаються складною будовою і неоднорідністю складу, що сприяє більшій здатності вугільного пласта до руйнування. Можна припустити, що із збільшенням потужності вугільного пласта збільшується кількість ОСП або на їх утворення витрачається менше енергії. Тому складні і потужні вугільні пласти є більш викидонебезпечними, а інтенсивність газодинамічних явищ в них вища.

Водночас тектонічні імпульси "проштовхують" через зони розущільнення порових розчинів, що приводить до активізації процесів взаємодії флюїдів з породами і вугіллям та залучення до процесу створення викидонебезпечних осередків у породах підошви та покрівлі. Породи мають більшу пористість, а отже, і здатність зберігати метан. Крім того, вони містять розсіяну органічну речовину, яка бере участь у процесі генерації метану. Різні за літологією шари та прошарки порід відрізняються за фізико-механічними властивостями, власними частотами коливань, що зумовлює формування індивідуального деформаційного стану в кожному з них і збільшує нерівноважність термодинамічної системи в масиві. В результаті зростають пружні і пластичні деформації зерен породотвірних мінералів і (або) їх зсув відносно один одного, що сприяє утворенню надмірної вільної енергії, яка перевищує в десятки і сотні разів її фонові значення [15]. Чим більше диференційованість відкладів, які містять пласт, тим більше нагромадженої енергії в гірському масиві. Крім того, в пластах пісковиків, аргілітів та алевролітів містяться речовини, які можуть бути каталізаторами процесів газогенерації.

Таким чином, суть запропонованої гіпотези полягає в тому, що під дією тектонічних сил протягом всього часу формування басейну виникають імпульсні механічні навантаження. Вони викликають у масиві появу та поширення хвилевих напруг, які спричиняють у розущільнених зонах вугільних пластів формування окремих невеликих ділянок — ОСП та їх періодичну активізацію. Це сприяє інтенсифікації фізико-хімічних процесів, в результаті яких в осередку нагромаджується критичний об'єм потенційної енергії і метану. Інтенсивність газодинамічних явищ визначається параметрами ОСП вугільної речовини: при невеликих розмірах викидонебезпечних ділянок пласта нагромадженої енергії і об'ємів газу

може бути недостатньо для викиду, при великих — релаксація енергії пройде швидко, а викидонебезпечна ділянка дегазується. Сумарна дія природних сучасних сил, величини яких достатньо для активізації структурних трансформацій і газогенерації в осередку вугільної речовини, і додаткових техногенних зовнішніх зусиль сприятиме різкому збільшенню внутрішньої напруги. Перевищення критичної напруги ініціює раптовий викид вугілля і газу в цих зонах.

1. *Забигайло В. Е., Лукинов В. В., Пимоненко Л. И., Сахневич Н. В.* Тектоника и горно-геологические условия разработки угольных месторождений Донбасса. – Киев: Наук. думка, 1994. – 150 с.
2. *Забигайло В. Е.* Геологические основы теории прогноза выбросоопасности угольных пластов и горных пород. – Киев: Наук. думка, 1978. – 136 с.
3. *Лукинов В. В., Пимоненко Л. И.* Тектоника метаноугольных месторождений Донбасса. – Киев: Наук. думка, 2008. – 350 с.
4. *Черский Н. А., Царев В. П., Сороко Т. И., Кузнецов О. Л.* Влияние тектоно-сейсмических процессов на образование и накопление углеводородов. – Новосибирск: Наука, 1985. – 260 с.
5. *Плотников Л. М., Петров А. И.* Об отражениях в геологических объектах волновой природы механических напряжений // Давления и механические напряжения в развитии состава, структуры и рельефа литосферы : Материалы к совещ. – Ленинград: ВСЕГЕИ, 1969. – С. 45–50.
6. *Нестеренко Л. Л., Бирюков Ю. В., Лебедев В. А.* Основы химии и физики горючих ископаемых. – Киев: Вища шк., 1987. – 359 с.
7. *Саранчук В. И., Айрани А. Т., Ковалев К. Е.* Надмолекулярная организация, структура и свойства угля. – Киев: Наук. думка, 1988. – 192 с.
8. *Барамбойн Н. К.* Механохимия высокомолекулярных соединений. – Москва: Химия, 1978. – 344 с.
9. *Лукинов В. В., Гончаренко В. А., Суворов Д. А.* О механизме генерации метана угольным пластом в процессе горных работ // Геотехническая механика : Межвед. сб. науч. тр. – Днепропетровск: Ин-т механики им. Н. С. Полякова НАН Украины, 2004. – Вып. 50. – С. 264–269.
10. *Dryden I. G.* Chemical Interpretation of X-Ray Studies of Ultrafine Structure of Coal // Fuel. – 1995. – **34**. – P. 57–69.
11. *Кулинич В. С., Шевелев Г. А., Егоров С. И.* Методы и средства определения параметров геомеханического состояния массива. – Донецк: Центр. б-ка науч. техн. информ., 1992. – 202 с.
12. *Ярошевский В.* Тектоника разрывов и складок. – Москва: Недра, 1981. – 245 с.
13. *Tissen P. A., Mayer G., Heinike R.* Grundlagen der Tribochemie. – Berlin: ABY Deut. Acad. Wiss., 1967. – 100 s.
14. *Мишин Н. И.* Влияние разрывных нарушений на показатели качества угля // Роль тектоники в формировании горно-геологических факторов угольных месторождений. – Ленинград: М-во геологии СССР, ВСЕГЕИ, 1983. – С. 192–209.
15. *Вернон Р. Х.* Метаморфические процессы. – Москва: Наука, 1980. – 227 с.

Інститут геотехнічної механіки
ім. М. С. Полякова НАН України, Дніпропетровськ

Надійшло до редакції 06.07.2009

V. V. Lukinov, L. I. Pymonenko, O. V. Burchak, D. A. Suvorov

A tectonic geochemical hypothesis of the formation of outburst areas in coal layers

A hypothesis of the formation of outburst areas in coal layers is offered. The hypothesis is built on the influence of the tectonics on geochemical processes. Periodic tectonic motions favor the formation of cells, which the coal matter is structurally regenerated in. In these cells, there is the accumulation of the potential energy to the critical value, and gas is generated.